



متوفرة على الموقع: <http://www.basra-sciencejournal.org>



ISSN -1817 -2695

## دراسة اثر كل من درجة الحرارة وتضمين تيار الحقن على اداء ليزر شبه الموصل ذي التجويف الشاقولي والباعث للضوء سطحياً (VCSEL)\*

علي مهدي جخيم و جاسب عبد الحسين مشاري  
قسم الفيزياء /كلية التربية /جامعة البصرة / البصرة / العراق  
\*Ali\_m1972ch@yahoo.com

الاستلام 18-7-2012، القبول 23-9-2012

### الخلاصة

درسنا اثر كل من درجة الحرارة وتضمين تيار الحقن في الحركات المختلفة لليزر شبه الموصل ذي التجويف الشاقولي والباعث للضوء سطحياً معتمدين انموذج سيامانا (Sciamanna) ومشاركه نظراً لأهمية هذا الجهاز ولاسيما في اجهزة الاتصالات المشفرة مما يعرضه الى تغيرات في درجة الحرارة وعملية التضمين الاساسية. تأثرت حركات الجهاز بشكل واسع بهذين المتغيرين واطهر حركات تراوحت بين المستقر والفوضوي مما يدل على ان هذا الجهاز غني بالحركات المختلفة خصوصاً الفوضوية منها لأهميتها في الاتصالات الفوضوية.

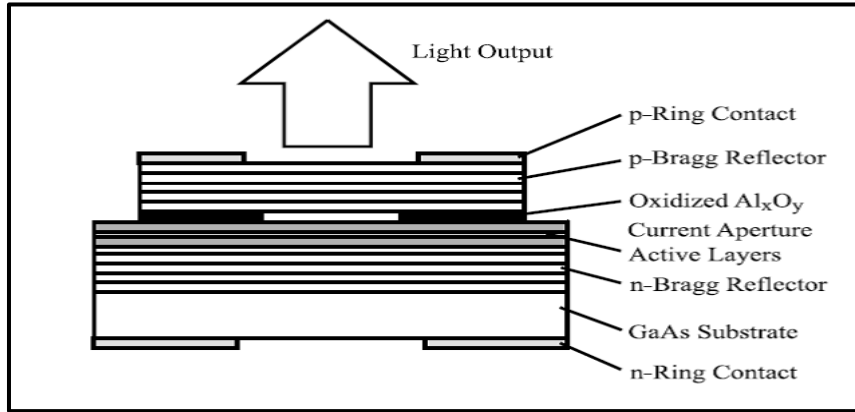
**الكلمات المفتاحية:** ليزر شبه موصل باعث شاقولي، انموذج سيامانا ، درجة الحرارة ،تضمين تيار الحقن ، حركات مختلفة.

## 1. مقدمة Introduction

عدة طبقات سمكها ربع طول موجي ذات معامل انكسار متناوب بين عالٍ وواطيٍ ، انعكاسية هذه الم –رايا ضمن المدى (99.5% – 99.9%) [2]. يتولد ضوء الليزر باتجاه عمودي على الطبقة الفعالة وبحزمة دائرية مثالية للاقتزان مع الالياف البصرية (Optical fibers) ، اما داخليا فان الضوء يعبر الطبقات الفعالة باتجاه عمودي (Vertical direction) ، اي ان التحصيل يجهز فوق مسافة قصيرة فقط، والتكبير لكل رحلة ذهاباً واياباً (Round trip) للفوتون يكون صغيراً، لذلك فإن المرايا بحاجة لانعكاسية عالية لتقوم الفوتونات بعدة رحلات ذهاباً واياباً قبل ان تغادر التجويف [3]. الشكل (1) يوضح تركيب ليزر (VCSE).

انبثق ليزر (VCSE) بسرعة في السنوات الاخيرة كصنف جديد من ليزرات شبه الموصل بسبب فوائد عدة مرتبطة بهندسته كما يتضح من الاسم . ان (VCSEL) هو تجويف ليزر مايكروبي بعاكسات براك الموزعة (DBR) في كل جانب من المنطقة الفعالة الرقيقة (اقل من ميكرو متر) التي تبعث الضوء عمودياً على سطح الرقاقة. حالياً فإن اغلب تركيب ليزرات (VCSE) الواعدة تستخدم طبقة فعالة تتألف من ابار جهد متعددة (Multiple quantum wells) محصورة بين طبقتين من عاكسات براغ الموزعة المُنمأة بالترسيب الانمائي الفوقي (Epitaxially grown) [1].

في الليزر ذات التجويف الشاقولي فان الطبقة الفعالة تحصر بين مرايا عالية الانعكاسية مصنوعة من



الشكل (1) يوضح تركيب ليزر (VCSE) مجهز بعاكسات براك الموزعة [4] (DBR).

تتناقص في قدرة الخرج . لما كانت هذه الاجهزة مهمة في الاتصالات البصرية وذلك عن طريق تضمين خرجها الى مديات واسعة بعدة كيكا هرتز اقتضى دراسة عملية التضمين في خرجها من ناحيتين وهما سعة التضمين وترددتها لذلك فأنا سندرسها من الناحية الرياضية.

بناءً على ما سبق فان دراسة حركيات هذا النوع من الليزر ذات اهمية كبيرة لان ارتفاع درجة حرارة الجهاز ستؤثر سلباً في قدرة خرج الجهاز . ان زيادة درجة الحرارة تؤدي الى هروب الالكترونات من المنطقة الفعالة مما يؤدي الى انخفاض في عملية الضخ وهذه بدورها تقود الى

## 2. الانموذج الرياضي Mathematical model

الانموذج اكثر عمومية من نماذج (San Miguel) وجماعته خصوصاً انموذج (SFM) [6] حيث يأخذ هذا الانموذج بنظر الاعتبار ضوضاء الانبعاث التلقائي

لغرض دراسة تأثير كل من اعتماد تيار الحقن على درجة الحرارة وتضمين التيار سنعمد انموذج الباحث سيامانا (Sciamanna) وجماعته [5] نظراً لان هذا

واعادة التحام الحاملات المحتث والامتصاص الانتقائي او ثنائية اللون ( Dichroism ) وثنائية معامل الانكسار ( Birefringence ) واعادة التحام الحاملات التلقائيوحقن الحاملات والمعدل الزمني لتطبيق

البرم (Spin-flip rate) ومركبات الضوء المستقطبة خطياً وكثافة الحاملات الكلية والفرق في الحاملات. على هذا الاساس فأن الانموذج الرياضي يكتب على شكل [5]:

$$\frac{\partial E_{\pm}}{\partial t} = k(1 + i\alpha)[(N \pm n)F_{\pm} - 1]E_{\pm} - (\gamma_a + i\gamma_p)E_{\mp} + f E_{\pm} e^{-i\omega_0 t} + \sqrt{\beta_{sp}(N \pm n)}\xi_{\pm} \quad (1. a)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} = -\gamma[N - \mu + (N + n)F_+|E_+|^2 + (N - n)F_-|E_-|^2] \quad (1. b)$$

$$\frac{\partial n}{\partial t} = -\gamma_s n - \gamma[(N + n)F_+|E_+|^2 - (N - n)F_-|E_-|^2] \quad (1. c)$$

حيث  $E_{\pm}$  تمثل المركبتين المستقطبتين دائريا الى اليمين والى اليسار للمجال البصري المتغير ببطء (Slowly varying optical field) و  $N$  مسؤولة عن الفرق بالتعداد الكلي بين حزمتي التوصيل والتكافؤ. تشير الى الفرق بين كثائتي فرق تعداد لمستويين متميزتين والتي تقترن بشكل منفصل مع انبعاث الضوء المستقطب دائريا الى اليمين او اليسار.  $k$  المعدل الزمني لاضمحلال المجال الكهربي داخل التجويف.  $\alpha$  عامل اقتران الطور بالسعة او معامل تعزيز عرض الخط.  $\gamma$  المعدل الزمني لاضمحلال الحاملات. اما  $\gamma_s = \gamma + 2\gamma_j$  حيث  $\gamma_j$  المعدل الزمني لاقتران قناتي الشعاع المستقطب دائريا، والتي تُمدج اليات الاسترخاء المختلفة على المستوى المجهري والتي توازن برم الحاملات، فيما  $\gamma_a$  و  $\gamma_p$  هما كثافة ثنائية معامل الانكسار الخطية وثنائية اللون على التوالي لكل رحلة ذهاباً واياباً داخل التجويف. تمثل  $\beta_{sp}$  المعدل الزمني للانبعاثات التلقائية. ان  $\xi_{\pm}$  هما - بشكل غير معتمد- الضوضاء واسعة النطاق ذات التباين الاحادي و معدل صفر. ويمثل  $\mu$  تيار الحقن المعايير (  $\mu = 1$  عند العتبة). تشير  $f$  الى المعدل الزمني للتغذية العكسية فيما تمثل  $\omega_0 \tau$  طور التغذية العكسية، حيث  $\omega_0$  تردد الليزر الثابت (Solitary) عند عتبة انبعاث الليزر و  $\tau$  زمن

رحلة الذهاب والاياب في التجويف الخارجي وان  $F_{\pm}$  تمثلان حدي اشباع التحصيل، ويكتبان على شكل [5]:

$$F_{\pm} = 1 - \epsilon|E_{\pm}|^2 \quad (2)$$

واخيراً فأن  $\epsilon$  معامل التحصيل المشيع ذاتياً.

لغرض دراسة تأثير كل من اعتماد تيار الحقن ( $I_j$ ) على درجة الحرارة ( $T$ ) وتضمنين هذا التيار تم كتابة تيار الحقن المعايير ( $\mu$ ) الوارد في المعادلة (2) على شكل [7]:

$$\mu = \frac{I_j}{(e\gamma_e N_t)} - 1 \quad (3)$$

حيث ان  $e$  تمثل شحنة الالكترن وتساوي  $1.6 \times 10^{-19}$  كولوم و  $N_t$  عدد الناقلات عند الشفافية Carriers (at transparency) وقيمتهما حوالي  $10^9$  وتمثل ( $\gamma_e$ ) معدل انحلال الزوج الكترون - فجوة وقيمتهما بحدود  $2ns^{-1}$  [7]. يكتب تيار الحقن ( $I_j$ ) بجزئين هما جزء التيار المعتمد على درجة الحرارة ( $I_{eff}$ ) والجزء الثابت ( $I_{in}$ ) ويكتبان على شكل [8]:

$$I_j = I_{in} + I_{eff} \quad (4. a)$$

$$I_{in} = xI_{th} \quad (4. b)$$

$$I_{eff} = a_0 + a_1 T + a_2 T^2 + a_3 T^3 + a_4 T^4 + \dots \quad (4. c)$$

و  $I_{th} = 320 \text{ mA}$  و  $T$  درجة الحرارة المطلقة وان قيم

$$a_1 = -2.545 \times 10^{-5} \text{ A/K} \quad [8]: \text{الثابت كالاتي}$$

$$a_2 = 2.908 \times 10^{-7} \text{ A/K}^2$$

$$a_3 = -2.531 \times 10^{-10} \text{ A/K}^3$$

خرج ليزر (VCSE) يُصار الى التعويض عن  $(I_j)$  في المعادلة (3) بالمعادلة (4-a,b,c)، اما دراسة تأثير التضمين فيعوض عن  $(I_j)$  المُعطى في المعادلة (5) بالمعادلة (3) ايضاً. ان اي من قيمتي  $(I_j)$  تعوض في المعادلة (1.b) وبعدها تتم دراسة حركيات خرج الليزر المختلفة بتأثير المتغيرات المشار اليها بالمعادلات (3-5).

و  $a_4 = 1.022 \times 10^{-12} A/K^4$  اما  $a_0$  فتتغير قيمته بين  $(1.246 mA)$  و  $(12.46 mA)$  و  $(124.6 mA)$  وتتغير  $(x)$  بين (1 و 2)، اما في حالة دراسة التضمين فان تيار الحقن  $(I_j)$  يكتب على شكل حاصل جمع جزئين مستمر  $I_{dc}$  ومتناوب [4]  $I_{ac} \sin(\omega t)$  اي ان:

$$I_j = I_{dc} + I_{ac} \sin(\omega t) \quad (5)$$

حيث ان  $I_{ac}$  سعة الجزء المتناوب من تيار الحقن الذي يتردد بمقدار  $\omega$  ولغرض دراسة تأثير درجة الحرارة على

### 3. نتائج المحاكاة Simulation results

بوجود وانعدام حد الضوضاء الوارد في الانموذج (1.a) والمتمثل بالحد  $(\sqrt{\beta_{sp}}(N \pm n)\xi_{\pm})$  وذلك بجعله يساوي صفراً.

استعملنا طريقة (Runge-Kutta) العددية ونظام (Matlab) في حل انموذج المعادلات (1) والاستعانة بالجدول (1) [5] لقيم الثوابت المختلفة. تمت الدراسة

الجدول (1) يبين قيم المعاملات الواردة في الانموذج الرياضي والمأخوذة قيمها من المصدر [5].

المعامل	القيمة	الوحدة
0	6	بدون وحدة
3	4	بدون وحدة
3	-0.1	بدون وحدة
10	1	بدون وحدة
300	80	بدون وحدة
80	1.5	بدون وحدة

لقد تم التأكيد على حساب الشدة الداخلية الكلية لجهاز الليزر  $(I_{tot})$  التي تحسب من المعادلة [5]:

$$I_{tot} = |E_+|^2 + |E_-|^2 \quad (6)$$

### 3.1. حركيات VCSEL تحت تأثير Dynamics of VCSEL under the effect of temperature changing

تغير درجة الحرارة : تم تغيير درجة الحرارة بين 200K و 500K واختيار احدى قيم  $a_0$  و  $x$  و  $T$  في كل مرة كما هو مبين في الجدول (2) ادناه والملاحظ هو عدم وجود اختلاف في النتائج بين حالتها وجود وانعدام حد الضوضاء:

الجدول (2) : يبين مدى كل من الثابت  $a_0$  و  $x$  و  $T$  المعتمدة في المحاكاة.

$a_0$ (mA)	$T$ (K)
1.246, 12.46, 124.6	200-500
	1, 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5, 2

•  $x = 1.3$  ( $I_{in} = 1.3I_{th} = 416mA$ ) يبدأ بدورة 2 بترددات مختلفة وينتهي فوضوياً.

•  $x = 1.4$  ( $I_{in} = 1.4I_{th} = 448mA$ ) دوري بدورة 2 ثم فوضى دورية وفوضى ثم بدورة واحدة تقريباً.

•  $x = 1.5$  ( $I_{in} = 1.5I_{th} = 480mA$ ) متعدد الدوريات بعدها دورة 3 ثم فوضى دورية وبدورة 2 ثم خرج اعتيادي ثم خليط من فوضى ومتعدد دوريات.

•  $x = 2$  ( $I_{in} = 2I_{th} = 640mA$ ) يكون خرج فوضوياً لجميع قيم  $T$  المعرفة والشكل (3) يمثل نماذج من النتائج.

ثالثاً : عندما  $a_0 = 124.6mA$

•  $x = 1$  ( $I_{in} = I_{th} = 320mA$ ) يبدأ الخرج بدورة 2 يتحول الى متعدد الدوريات ويعد فوضى دورية ثم بدورة 2 بتردد عالٍ واخر واطى.

•  $x = 1.1$  ( $I_{in} = 1.1I_{th} = 352mA$ ) يكون فوضوياً ثم متعدد الدوريات تتبعها حالة فوضى وفوضى ثم فوضى دورية وبعدها متعدد الدوريات ثم خرج اعتيادي جداً.

•  $x = 1.2$  ( $I_{in} = 1.2I_{th} = 384mA$ ) دوري بدورة 2 ويتحول الى الفوضى الدورية وبدورة 2 ثم فوضى دورية ودوري ثم خرج بدورة واحدة خالصة ثم فوضى.

•  $x = 1.3$  ( $I_{in} = 1.3I_{th} = 416mA$ ) دوري ثم متعدد الدوريات يليه خرج اعتيادي ثم خليط من

الفوضى الضيقة ومتعدد الدوريات ثم يستمر فوضوياً.

•  $x = 1.4$  ( $I_{in} = 1.4I_{th} = 448mA$ ) حالة فوضى متقدمة وبعدها فوضى بترددات عالية جداً وتستمر الحالة الفوضوية.

•  $x = 1.5$  ( $I_{in} = 1.5I_{th} = 480mA$ ) يكون الخرج عبارة عن خليط من الفوضى ثم بعدها يكون فوضوي الى النهاية.

•  $x = 2$  ( $I_{in} = 2I_{th} = 640mA$ ) يبدأ فوضوياً متقدمة ثم فوضى وبعدها فوضى دورية ويستمر كذلك.

والشكل (4) يمثل نماذج من النتائج اعلاه.

الان سنلخص النتائج السابقة من خلال تتبع مسار تغير درجة الحرارة خلال القيم الثلاث للثابت  $a_0$  وكالاتي:

أولاً: عندما  $a_0 = 1.246mA$  سندرس تغير التيار بأخذ قيم  $x$  بدءاً من 1 الى 2 وتصاعد قيم  $T$  من  $T=200K$  الى  $T=500K$  فكانت النتائج كالاتي وكما في الشكل (2):

•  $x = 1$  ( $I_{in} = I_{th} = 320mA$ ) يتغير الخرج من متعدد الدوريات ثم بدورة 2 بعدها فوضى دورية وتليها دورة 2 واطئة التردد ثم عالية التردد.

•  $x = 1.1$  ( $I_{in} = 1.1I_{th} = 352mA$ ) يبدأ الخرج بفوضى دورية وبعدها متعدد الدوريات ثم بدورة 2 وبعدها متعدد الدوريات وينتهي بفوضى دورية عند اخر قيمة الى  $T$ .

•  $x = 1.2$  ( $I_{in} = 1.2I_{th} = 384mA$ ) فوضوي دوري ثم متعدد الدوريات بأشكال مختلفة ثم بدورة 4 ومتعدد الدوريات وفوضى دورية.

•  $x = 1.3$  ( $I_{in} = 1.3I_{th} = 416mA$ ) يبدأ الخرج بدورة 2 بتردد عالٍ واطى ودورة 4 وبدورة 2 بتردد عالٍ وفوضى دورية بعدها متعدد دوريات واخيرا بدورة 2

•  $x = 1.4$  ( $I_{in} = 1.4I_{th} = 448mA$ ) متعدد الدوريات ثم دورة 6 ثم متعدد دوريات وعندما

$T = 500 K$  يكون بدورة واحدة واطئة التردد نسبياً.

•  $x = 1.5$  ( $I_{in} = 1.5I_{th} = 480mA$ ) يبدأ بدورة 4 وبعدها فوضى دورية وينتهي بخرج اعتيادي عندما  $T = 500 K$ .

•  $x = 2$  ( $I_{in} = 2I_{th} = 640mA$ ) متعدد الدوريات وفوضوي دوري.

ثانياً: عندما  $a_0 = 12.46mA$

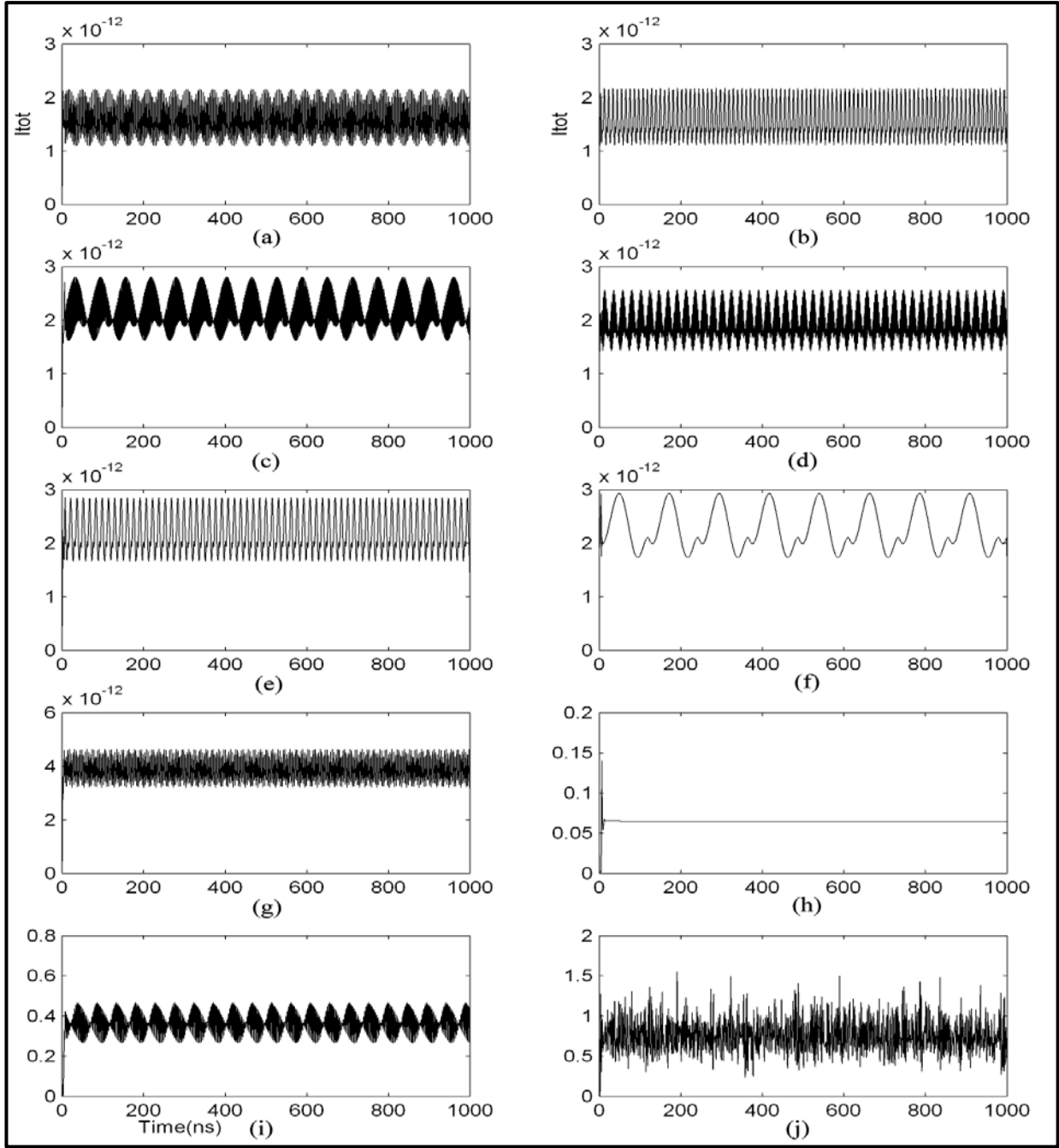
•  $x = 1$  ( $I_{in} = I_{th} = 320mA$ ) يبدأ بدورة 2 عالية التردد ثم واطئة التردد ثم فوضوي دوري وبعدها يتحول الى دورة 2 ثابتة التردد.

•  $x = 1.1$  ( $I_{in} = 1.1I_{th} = 352mA$ ) متعدد الدوريات وفوضوي ثم متعدد دوريات.

•  $x = 1.2$  ( $I_{in} = 1.2I_{th} = 384mA$ ) يبدأ الخرج بفوضى دورية وبعدها متعدد الدوريات خاص جداً ومتعدد الدوريات وفوضى دورية ثم بدورة 2 وفوضى دورية .

- 1- عندما  $x = 1$  ( $I_{in} = I_{th} = 320mA$ ) فإن الخرج عند:
- $T = 200 K$  يكون متعدد الدوريات ثم يتحول الى دورة 2.
  - $T = 250 K$  يكون دورياً بدورة 2.
  - $T = 300 K$  متعدد الدوريات ثم يتحول الى دورة 2 ويستمر.
  - $T = 350 K$  فوضوي دوري ثم فوضوي دوري ثم دورة 2.
  - $T = 400 K$  يبدأ بدورة 2 واطئة التردد ثم فوضوي شبه دورية
  - $T = 450 K$  دوري ذو 2 دورة علي التردد ثم دورة 2 ويستمر.
  - $T = 500 K$  دوري بدورة 2 عالية التردد لقيمتي  $a_0$  واخيراً بدورة 2 واطئة التردد للقيمة الثالثة.
- 2- عندما  $x = 1.1$  ( $I_{in} = 1.1I_{th} = 352mA$ ) فإن الخرج عند :
- $T = 200 K$  يكون متعدد الدوريات وفوضوي دوري ويستمر.
  - $T = 250 K$  متعدد الدوريات ويستمر.
  - $T = 300 K$  دوري بدورة 2 و متعدد الدوريات ثم فوضوي دورية.
  - $T = 350 K$  متعدد الدوريات و متعدد الدوريات و اخيراً يصبح فوضوياً.
  - $T = 400 K$  متعدد الدوريات ثم فوضوي دورية وتستمر .
  - $T = 450 K$  متعدد الدوريات ثم فوضوي دورية و متعدد الدوريات.
  - $T = 500 K$  فوضوي دوري ومن ثم متعدد الدوريات واخيراً يتحول الى خرجاً اعتيادياً.
- 3- عندما  $x = 1.2$  ( $I_{in} = 1.2I_{th} = 384mA$ ) فإن الخرج عند:
- $T = 200 K$  متعدد الدوريات وبعدها فوضوي دورية ثم دوري بدورة 2.
- 4- عندما  $x = 1.3$  ( $I_{in} = 1.3I_{th} = 416mA$ ) فإن الخرج عند:
- $T = 200 K$  يبدأ بدورة 2 ثم متعدد الدوريات ويعود بدورة 2
  - $T = 250 K$  يكون بدورة 2 واطئة التردد وبعدها بدورة 2 ثم متعدد الدوريات.
  - $T = 300 K$  متعدد الدوريات يتحول خرج بدورة 2 واخيراً يكون خرج اعتيادياً.
  - $T = 350 K$  دوري بدورة 2 ويستمر ثم يتحول الى خرجاً اعتيادياً.
  - $T = 400 K$  متعدد الدوريات ثم بدورة 2 واطئة التردد ثم خليط من الفوضي و متعدد الدوريات.
  - $T = 450 K$  متعدد الدوريات يتحول الى دورة 2 ثم الى الفوضي.
  - $T = 500 K$  دوري بدورة 2 ثم الى الفوضي الدورية يؤول الى فوضي شديدة.
- 5- عندما  $x = 1.4$  ( $I_{in} = 1.4I_{th} = 448mA$ ) فإن الخرج عند:
- $T = 200 K$  متعدد الدوريات ثم بدورة 2 ثم حالة من الفوضي المعقدة.
  - $T = 250 K$  متعدد الدوريات ويستمر واخيراً يصبح فوضوياً.
  - $T = 300 K$  متعدد الدوريات ويستمر.
  - $T = 350 K$  متعدد الدوريات ويستمر.

- $T = 400 K$  متعدد الدوريات ويستمر وبالنهاية يكون فوضوياً.
- $T = 450 K$  متعدد الدوريات ثم بدورة 1 واخيراً يتحول الى الفوضوي.
- $T = 500 K$  دوري بدورة 2 ثم شبه دورة 2 واخيرا يتحول الى الفوضي.
- -6 عندما  $x = 1.5$  ( $I_{in} = 1.5I_{th} = 480mA$ ) يكون الخرج عند:
- $T = 200 K$  متعدد الدوريات ويستمر واخيراً يصبح خليطاً من الفوضى المختلفة.
- $T = 250 K$  فوضوي دوري ثم متعدد الدوريات واخيراً يتحول الى الفوضى.
- $T = 300 K$  فوضوي دوري ثم الى دورة 2 او 3 واخيراً يتحول الى الفوضى.
- $T = 350 K$  متعدد الدوريات ويستمر ثم الى حالة الفوضى
- $T = 400 K$  متعدد الدوريات ويستمر.
- $T = 450 K$  متعدد الدوريات ثم يصبح خرجاً اعتيادياً وبعدها يتحول الى الفوضى.
- $T = 500 K$  يبدأ اعتيادياً ثم خليط من الفوضى ومتعدد الدوريات ثم الى الفوضى.
- -7 عندما  $x = 2$  ( $I_{in} = 2I_{th} = 640mA$ ) يبدأ الخرج متعدد الدوريات ثم يتحول الى فوضوي واخيراً الى الفوضى المتقدمة ولجميع قيم  $T$ .



الشكل (2): يمثل التصرف الزمني للشدة الكلية  $I_{tot}$  لخرج VCSEL بتأثير درجة الحرارة وتيار الحقن في حالة  $a_0 = 1.246mA$  مع بقاء قيم المعاملات الاخرى كما في الجدول (1) وكما يأتي :

$$I_{in} = I_{th} , T = 250K - b$$

$$I_{in} = I_{th} , T = 200K - a$$

$$I_{in} = 1.2I_{th} , T = 250K - d$$

$$I_{in} = 1.1I_{th} , T = 450K - c$$

$$I_{in} = 1.3I_{th} , T = 250K - f$$

$$I_{in} = 1.3I_{th} , T = 200K - e$$

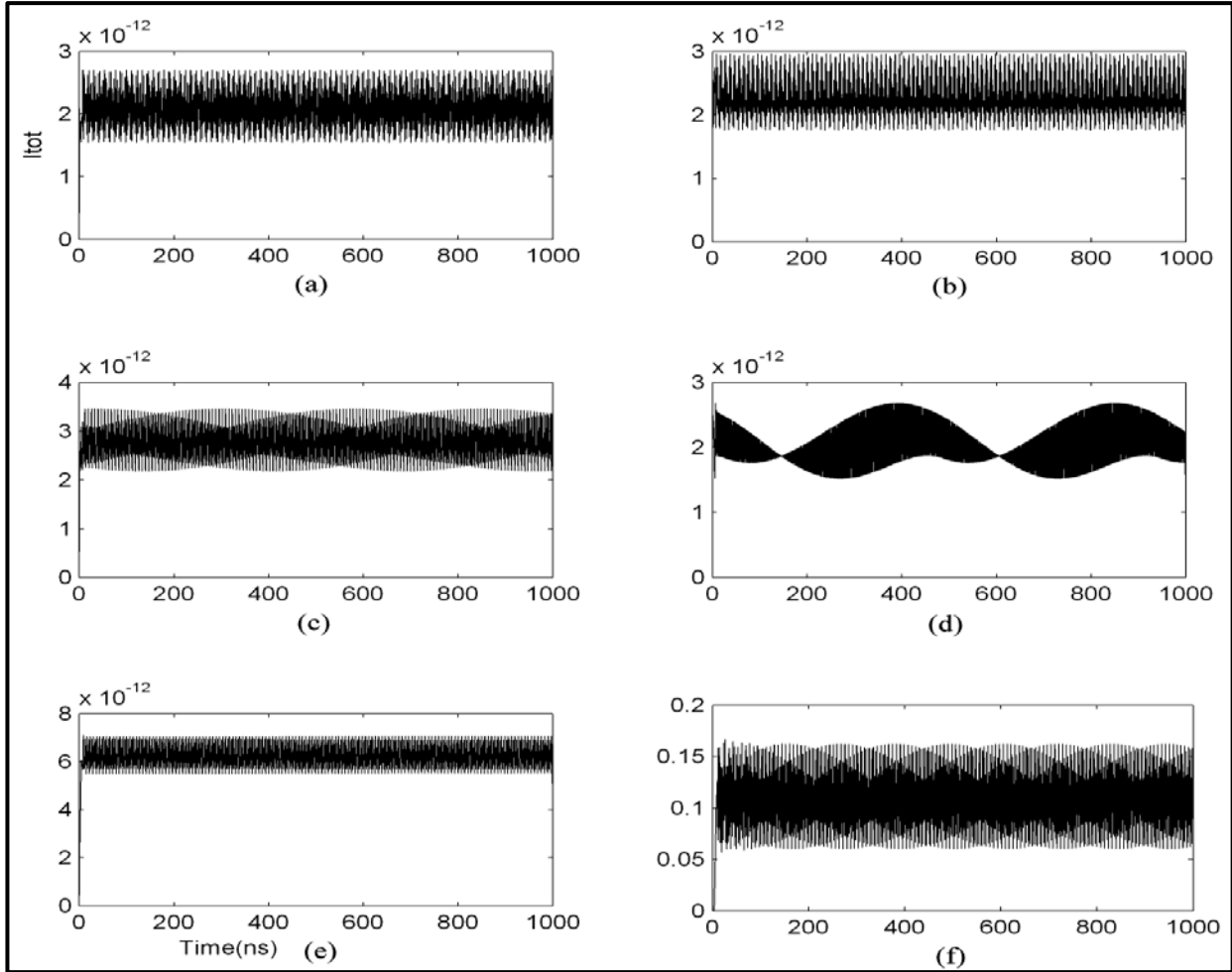
$$I_{in} = 1.5I_{th} , T = 500K - h$$

$$I_{in} = 1.5I_{th} , T = 200K - g$$

$$I_{in} = 2I_{th} , T = 500K - j$$

$$I_{in} = 2I_{th} , T = 200K - i$$





الشكل(3): يمثل التصرف الزمني للشدة الكلية  $I_{tot}$  لخرج VCSEL بتأثير درجة الحرارة والتيار الحقن في حالة  $\alpha_0 = 12.46mA$  مع بقاء قيم المعاملات الأخرى كما في الجدول (1) وكما يأتي:

$$I_{in} = 1.1I_{th} , T = 450K - b$$

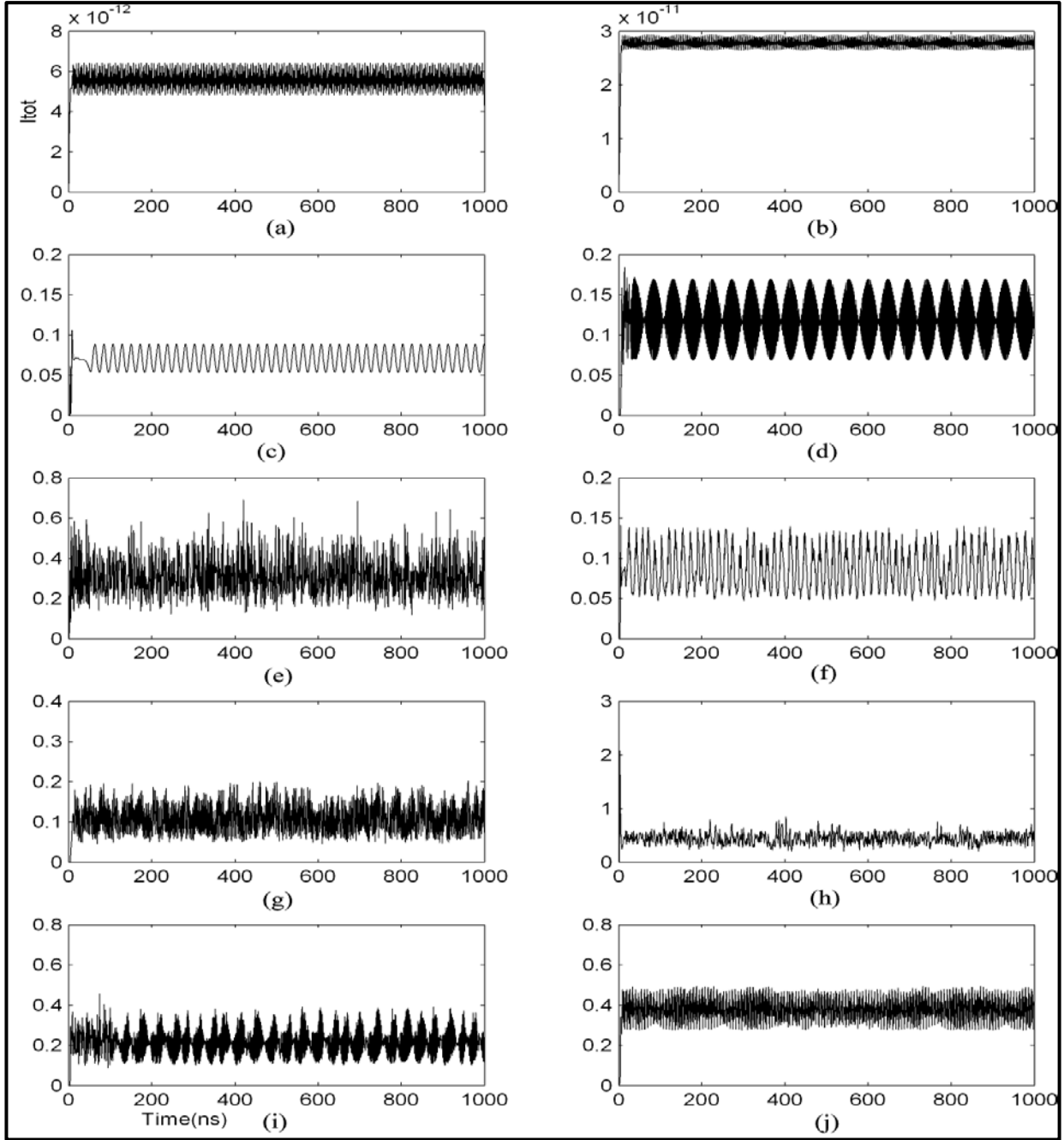
$$I_{in} = 1.1I_{th} , T = 400K - a$$

$$I_{in} = 1.2I_{th} , T = 250K - d$$

$$I_{in} = 1.1I_{th} , T = 500K - c$$

$$I_{in} = 1.5I_{th} , T = 500K - f$$

$$I_{in} = 1.5I_{th} , T = 300K - e$$



الشكل(4): يمثل التصرف الزمني للشدة الكلية  $I_{tot}$  لخرج VCSEL بتأثير درجة الحرارة وتيار الحقن في حالة  $a_0 = 124.6mA$  مع بقاء قيم المعاملات الاخرى كما في الجدول (1) وكما يأتي :

$$I_{in} = 1.1I_{th} , T = 450K - b$$

$$I_{in} = 1.1I_{th} , T = 400K - a$$

$$I_{in} = 1.3I_{th} , T = 400K - d$$

$$I_{in} = 1.2I_{th} , T = 450K - c$$

$$I_{in} = 1.4I_{th} , T = 200K - f$$

$$I_{in} = 1.3I_{th} , T = 500K - e$$

$$I_{in} = 1.4I_{th} , T = 500K - h$$

$$I_{in} = 1.4I_{th} , T = 250K - g$$

$$I_{in} = 1.5I_{th} , T = 400K - j$$

$$I_{in} = 1.5I_{th} , T = 200K - i$$

## 3.2. Dynamics of VCSEL under the effect of current modulation of injection

تتضمن تيار الحقن VCSEL تحت تأثير عملية تضمين تيار الحقن وتتناول في هذا الجزء تأثير عملية تضمين تيار الحقن وذلك عن طريق تعويض قيم  $w$  (المبينة في الجدول (3)) ادناه في المعادلة (5) وعند قيمة معينة للجزء المتغير  $I_{ac}$  من التيار وتقابلها قيمة معينة من الجزء الثابت  $I_{dc}$  ثم تعويض  $I_j$  في المعادلة (3) قبل تعويضها في المعادلة (1.b)

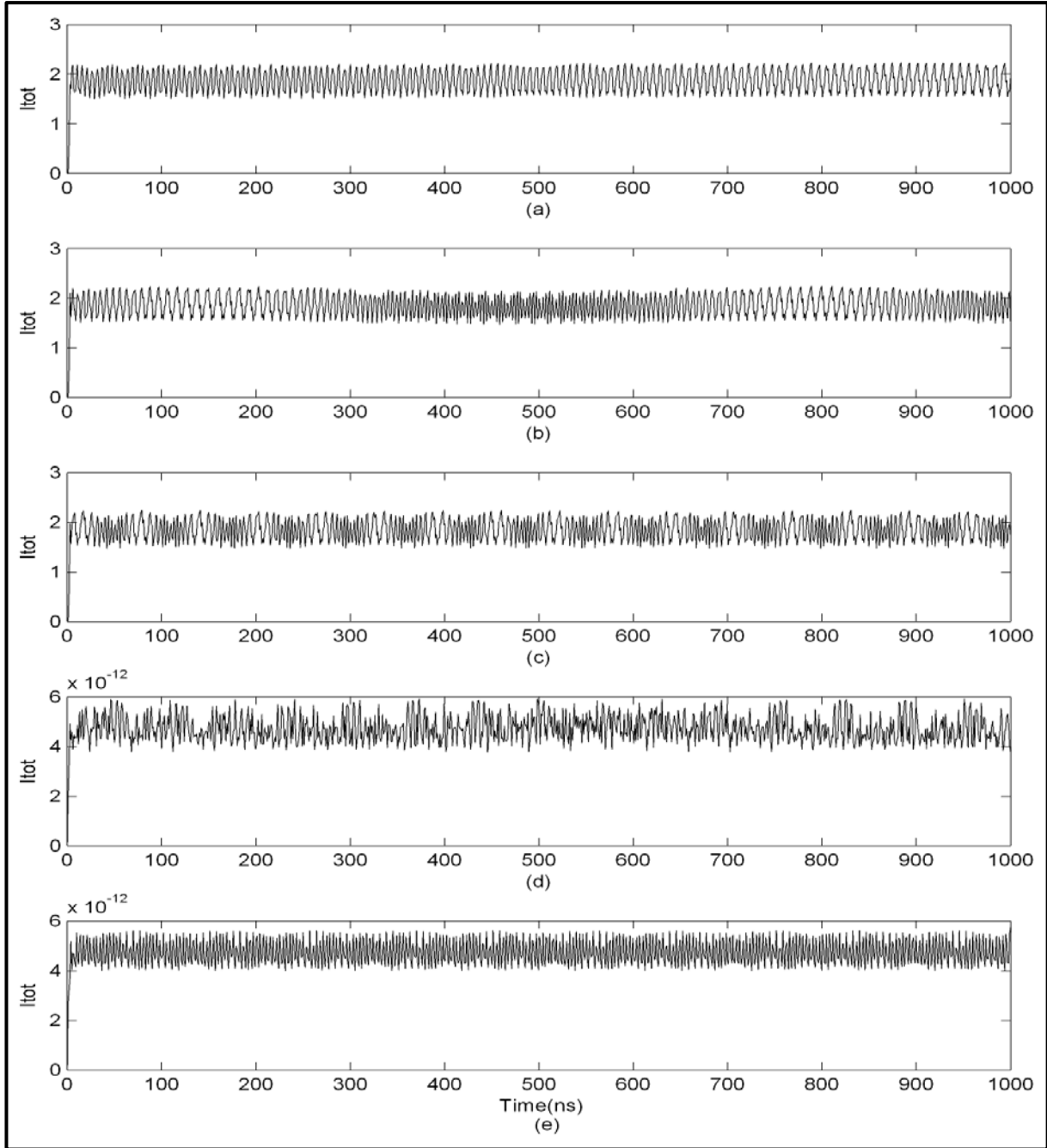
الجدول (3) يمثل قيم كل من  $I_{ac}$  و  $w$  على التوالي

$I_{ac} (mA)$	$I_{ac} (mA)$	$w (Hz)$
350-800	5-20	1MHz-1000GHz

أولاً: عند فرز النتائج على أساس التيارات ومراقبة التصرفات تحت تأثير التردد كانت النتائج كما يأتي :

- 1- حالة  $I_{ac} = 350 mA$  فعندما  $I_{ac} = 5 mA$  فالخرج فوضوي لجميع قيم  $w$  ويتكرر الحال عند  $I_{ac} = 10 mA$  وعندما  $I_{ac} = 20 mA$  فالخرج يحافظ على الحالة الفوضوية ما عدا الحالة التي فيها  $w = 100 MHz$  فالخرج فوضوي دوري.
  - 2- حالة  $I_{ac} = 400 mA$  والنتائج التالية حسب ترتيب قيم التردد والمبينة في الجدول (3):
    - $I_{ac} = 5 mA$  فالخرج فوضوي لجميع قيم التردد .
    - عندما  $I_{ac} = 10 mA$  فيبدأ الخرج بحالة الفوضى ثم فوضى دورية عند  $w = 100 MHz$  وفوضى متقدمة عند  $10 GHz$  وبدورة 2 عند القيمتين الأخيرتين.
    - عند  $I_{ac} = 20 mA$  تظهر فوضى دورية من نوع خاص عند  $1 MHz$  ثم فوضى دورية مضمنة على إشارة جيبيية عند  $10 Hz$  ويتحول الى الفوضى عند  $1 GHz$  وبعدها فوضى دورية مضمنة عند  $10 GHz$  ثم يؤول الى دوري بدورة 2 عند القيمتين الأخيرتين.
  - 3- حالة  $I_{ac} = 500 mA$  فعند  $I_{ac} = 5 mA$  يبدأ الخرج بخليط من الفوضى ومتعدد الدوريات عند  $w = 1 MHz$  ثم خليط من الفوضى الدورية والمتقدمة عند  $10 MHz$  ثم فوضى دورية للترددين التاليين ومتعدد
- الدوريات للترددات الثلاث الاخيرة وحسب الترتيب المشار اليه في الجدول (3).
- عندما  $I_{ac} = 10 mA$  فيبدأ الخرج بفوضى دورية متقطعة تربط بينها دورة 2 عند التردد  $1 MHz$  و  $100 MHz$  الا انها تصبح مضمنة على اشارة جيبيية تتبعها وعند التردد  $100 MHz$  فوضى متقدمة تتراوح بشكل جيبي ثم فوضى دورية للترددين التاليين و متعدد الدوريات للترددين الاخيرين و
  - عندما  $I_{ac} = 20 mA$  فالتصرفات كسابقها في حالة  $I_{ac} = 10 mA$ .
  - 4- حالة  $I_{ac} = 600 mA$  والنتائج التالية حسب ترتيب قيم التردد والمبينة في الجدول (3):
    - $I_{ac} = 5 mA$  تكون التصرفات فوضوية ولجميع قيم  $w$ .
    - $I_{ac} = 10 mA$  يبدأ الخرج بحالة فوضوية عند  $1 MHz$  ثم فوضى جيبيية عند  $10 MHz$  ثم فوضى دورية عند  $100 MHz$  وتستمر الفوضى عند بقية الترددات.
    - عند التردد  $1 MHz$  فالخرج فوضوي دوري بجزئين يربطهما تصرف متعدد الدوريات وعند التردد التالي تظهر فوضى دورية جيبيية وفوضى دورية عند  $100 MHz$  وبعدها ولجميع الترددات المتبقية يكون الخرج فوضوياً.

- 5-  $I_{dc} = 700 \text{ mA}$  تكون التصرفات فوضوية في كل الاحوال ولجميع القيم. والاشكال ( 5-7) تبين نماذج من النتائج المستحصلة.
- ثانياً: النتائج على اساس التردد ومراقبة التغيرات الحاصلة بسبب تغير التيار كانت النتائج كما يأتي:
- 1- حالة  $I_{ac} = 5 \text{ mA}$  و النتائج التالية حسب ترتيب قيم الجزء المستمر من التيار والمبينة في الجدول(3):
- $w = 1 \text{ MHz}$  يكون الخرج فوضوياً ما عدا  $I_{dc} = 500 \text{ mA}$  فالخرج عبارة عن خليط من الفوضى ومتعدد الدوريات.
  - $10 \text{ MHz}$  يكون الخرج كله فوضوياً ما عدا  $I_{dc} = 500 \text{ mA}$  فعندها الخرج خليط من فوضى متقدمة وفوضى ومتعدد الدوريات وفوضى لما تبقى من قيم التيار.
  - $w = 100 \text{ Hz}$  و  $w = 1 \text{ GHz}$  تظهر انواع مختلفة من الفوضى الا انها دورية عند  $I_{dc} = 500 \text{ mA}$ .
  - $w = 10 \text{ GHz}$  يكون الخرج فوضوي ولجميع قيم التيار  $I_{dc}$  عدا  $I_{dc} = 500 \text{ mA}$  فيكون متعدد الدوريات وشيء من الفوضى.
  - $w = 100 \text{ Hz}$  الخرج يبقى فوضوي عدا  $I_{dc} = 500 \text{ mA}$  فيكون متعدد الدوريات.
  - $w = 1000 \text{ GHz}$  كما في الحالة السابقة.
- 2- حالة  $I_{ac} = 10 \text{ mA}$  و النتائج التالية حسب ترتيب قيم الجزء المستمر من التيار والمبينة في الجدول(3):
- $w = 1 \text{ MHz}$  فوضى ثم مقاطع من الفوضى تربطها دوريات ويزداد تردد الحالة السابقة عند  $I_{dc} = 500 \text{ mA}$  ثم مقطعا فوضى يرتبطان بمتعدد دوريات عند  $I_{dc} = 600 \text{ mA}$  واخيراً فوضى.
  - $w = 10 \text{ MHz}$  يكون الخرج عبارة عن فوضى دورية ثم فوضى مركبة على اشارة جيبيه وعلى الترتيب ثم فوضى على شكل مقاطع تربطها حركات دورية والتصرف العام جيبي عند  $I_{dc} = 500 \text{ mA}$  ومع زيادة التيار المستمر تكون الفوضى دورية ومركبة على اشارة جيبيه.
  - $w = 100 \text{ MHz}$  يكون الخرج فوضوي دوري مع القيمتين الاوليتين للتيار المستمر ولكن عند  $I_{dc} = 500 \text{ mA}$  تظهر فيه فوضى متقدمة وفوضى متقدمة ثم دورية وينتهي بحالة فوضى.
  - $w = 1 \text{ GHz}$  يكون الخرج فوضوي بكل الاحوال.
  - $w = 10 \text{ GHz}$  يُظهر الخرج حالات فوضى وفوضى متقدمة وفوضى دورية وتستمر حالة الفوضى وحسب ترتيب قيم التيار.
  - $w = 1000 \text{ GHz}$  الخرج بحالة الفوضى ثم يتحول الى دوري ذي دورة 2 وبعدها حالة متعدد الدوريات ثم ستمر فوضوياً لبقية قيم التيار المستمر.
- 3- حالة  $I_{ac} = 20 \text{ mA}$  وحسب ترتيب قيم الجزء المستمر من التيار والمبينة في الجدول(3):
- $w = 1 \text{ MHz}$  فوضى ثم مقاطع من الفوضى تربطها دوريات ويزداد تردد الحالة السابقة عند  $I_{dc} = 500 \text{ mA}$  ثم مقطعا فوضى يرتبطان بمتعدد دوريات عند  $I_{dc} = 600 \text{ mA}$  واخيراً فوضى.
  - $w = 10 \text{ MHz}$  يكون الخرج عبارة عن فوضى دورية ثم فوضى مركبة على اشارة جيبيه وعلى الترتيب ثم فوضى على شكل مقاطع تربطها حركات دورية والتصرف العام جيبي عند  $I_{dc} = 500 \text{ mA}$  ومع زيادة التيار المستمر تكون الفوضى دورية ومركبة على اشارة جيبيه.
  - $w = 100 \text{ MHz}$  يكون الخرج فوضوي دوري مع القيمتين الاوليتين للتيار المستمر ولكن عند  $I_{dc} = 500 \text{ mA}$  تظهر فيه فوضى متقدمة وفوضى متقدمة ثم دورية وينتهي بحالة فوضى.
  - $w = 1 \text{ GHz}$  يكون الخرج فوضوي بكل الاحوال.
  - $w = 10 \text{ GHz}$  يُظهر الخرج حالات فوضى وفوضى متقدمة وفوضى دورية وتستمر حالة الفوضى وحسب ترتيب قيم التيار.
  - $w = 1000 \text{ GHz}$  الخرج بحالة الفوضى ثم يتحول الى دوري ذي دورة 2 وبعدها حالة متعدد الدوريات ثم ستمر فوضوياً لبقية قيم التيار المستمر.
- 2- حالة  $I_{ac} = 10 \text{ mA}$  و النتائج التالية حسب ترتيب قيم الجزء المستمر من التيار والمبينة في الجدول(3):
- $w = 1 \text{ MHz}$  يكون الخرج فوضوياً ما عدا  $I_{dc} = 500 \text{ mA}$  فالخرج يحتوي مقاطع من الفوضى تربطها دورة 1 و 2.
  - $w = 10 \text{ MHz}$  يكون الخرج فوضوياً ما عدا  $I_{dc} = 500 \text{ mA}$  فتظهر الاشارة السابقة نفسها الا انها مركبة على اشارة جيبيه.
  - $w = 1 \text{ GHz}$  الخرج فوضوي في كل الاحوال.
  - $w = 10 \text{ GHz}$  تظهر حالات فوضى وفوضى متقدمة وخليط من الفوضى ومتعدد الدوريات



الشكل (5): يمثل التصرف الزمني للشدة الكلية  $I_{TOT}$  لخرج VCSEL بتأثير تضمين تيار الحقن عند بقاء قيم المعاملات الأخرى كما في الجدول (1)

في حالة  $I_{DC} = 5mA$  وكما يأتي:

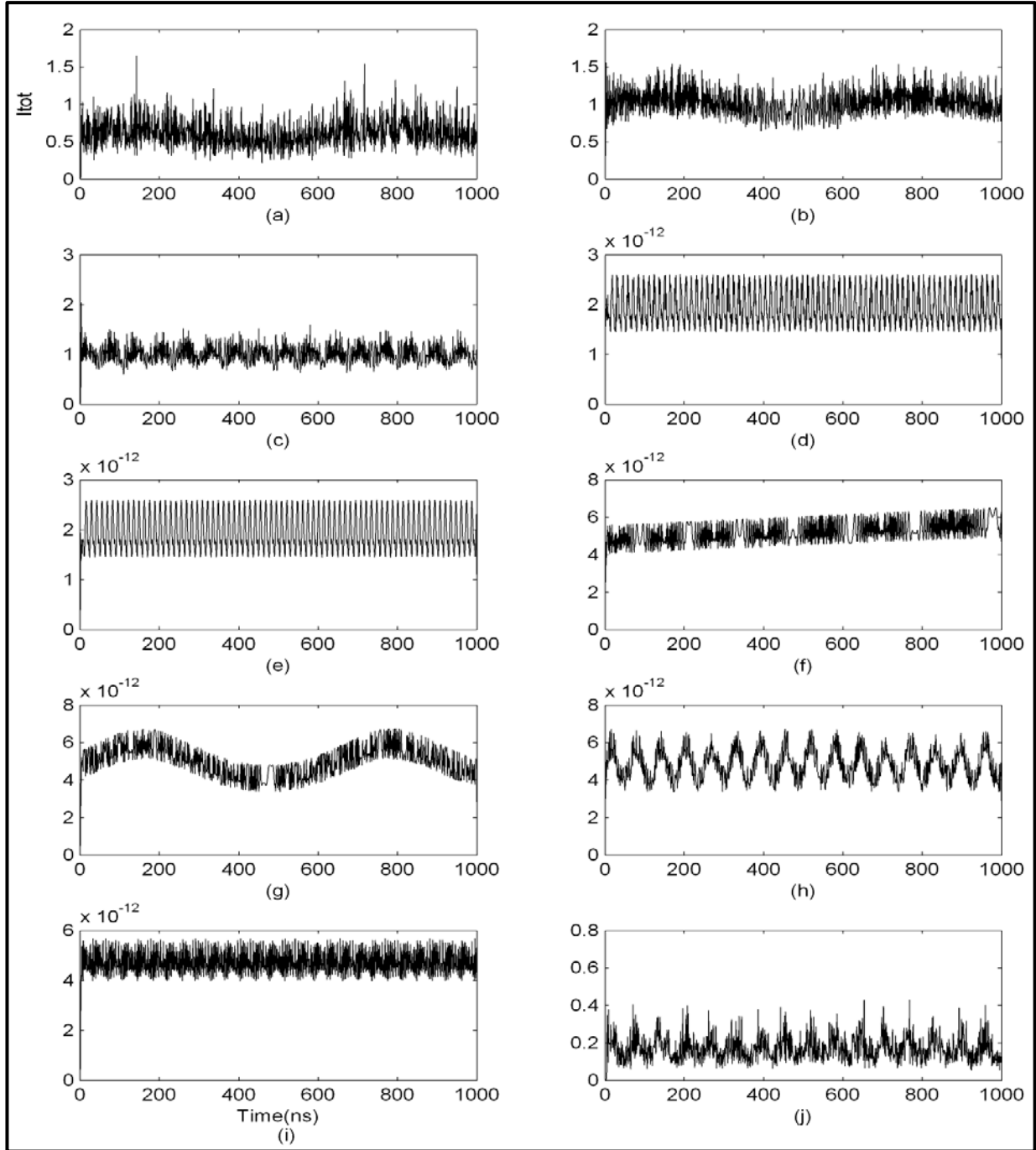
$$I_{dc} = 500mA , w = 10MHz -b$$

$$I_{dc} = 500mA , w = 1MHz - a$$

$$I_{dc} = 500mA , w = 1GHz -d$$

$$I_{dc} = 500mA , w = 100MHz - c$$

$$I_{dc} = 500mA , w = 10GHz -e$$



الشكل (6): يمثل التصرف الزمني للشدة الكلية  $I_{tot}$  لخرج VCSEL بتأثير تضمين تيار الحقن عند بقاء قيم المعاملات الأخرى كما في الجدول (1)

في حالة  $I_{dc} = 10mA$  وكما يأتي :

$$I_{dc} = 400mA , w = 10MHz -b$$

$$I_{dc} = 350mA , w = 10MHz - a$$

$$I_{dc} = 400mA , w = 10GHz -d$$

$$I_{dc} = 400mA , w = 100MHz - c$$

$$I_{dc} = 500mA , w = 1MHz -f$$

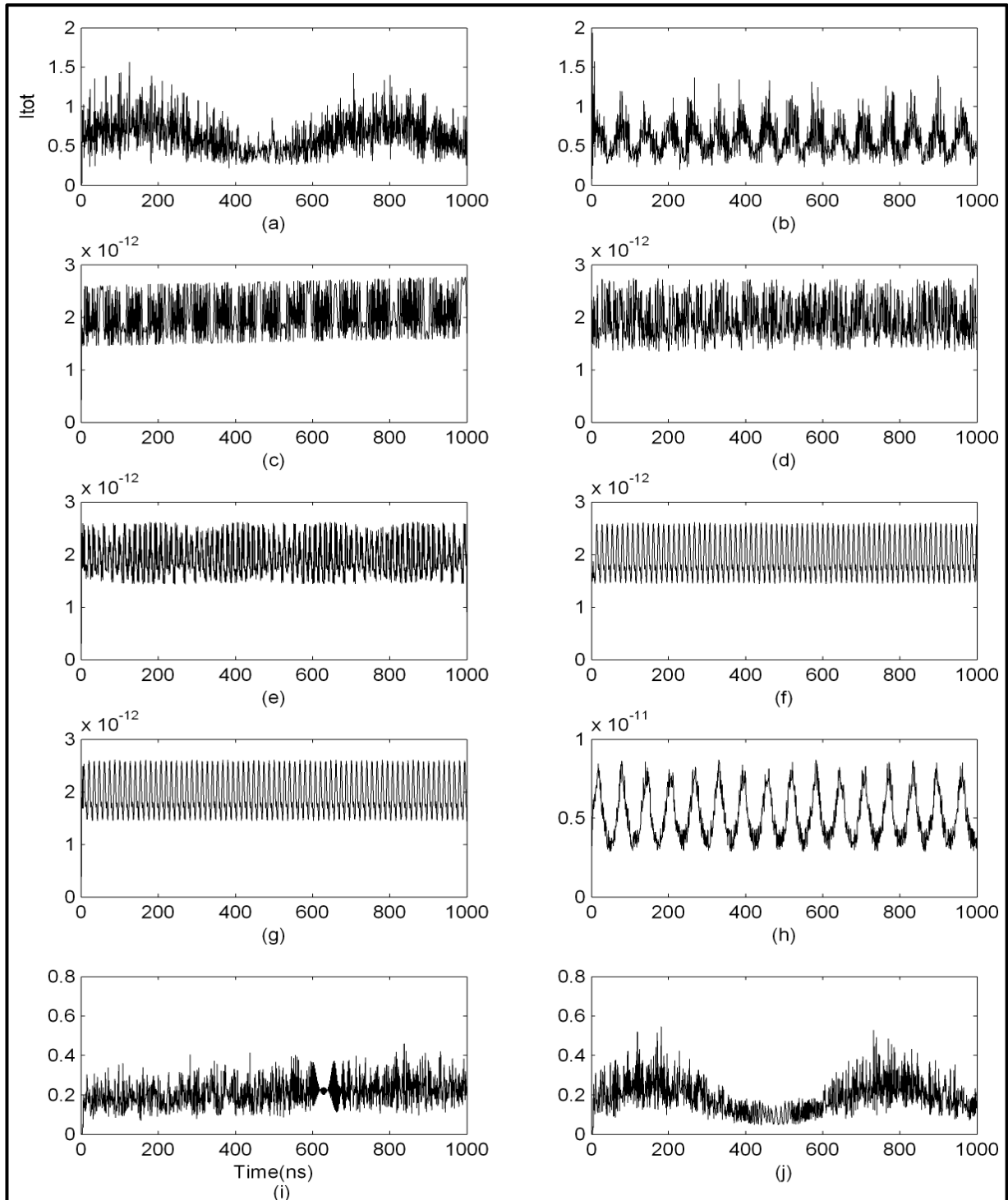
$$I_{dc} = 400mA , w = 100GHz -e$$

$$I_{dc} = 500mA , w = 100MHz -h$$

$$I_{dc} = 500mA , w = 10MHz -g$$

$$I_{dc} = 600mA , w = 100MHz -j$$

$$I_{dc} = 500mA , w = 10GHz -l$$



الشكل(7):يمثل التصرف الزمني للشدة الكلية  $I_{tot}$  لخرج VCSEL بتأثير تضمين تيار الحقن عند بقاء قيم المعاملات الأخرى كما في الجدول (1)

في حالة  $I_{dc} = 20mA$  وكما يأتي:

$$I_{dc} = 350mA , w = 100MHz -b$$

$$I_{dc} = 350mA , w = 10MHz - a$$

$$I_{dc} = 400mA , w = 1GHz -d$$

$$I_{dc} = 400mA , w = 1MHz - c$$

$$I_{dc} = 500mA , w = 100GHz -f$$

$$I_{dc} = 400mA , w = 10GHz -e$$

$$I_{dc} = 500mA , w = 100MHz -h$$

$$I_{dc} = 400mA , w = 1000GHz -g$$

$$I_{dc} = 600mA , w = 100MHz -j$$

$$I_{dc} = 600mA , w = 1MHz -i$$

#### 4. المناقشة Discussion

#### 4.1. تأثير درجة الحرارة على Effect of temperature on the

#### على حركات VCSEL VCSEL dynamics

لتسهيل العمل فإن اعتماد الكفاءة على درجة الحرارة يمكن ان يُعد قليل وعن طريق اهمال تأثيرات احتراق الحفرة المكاني يمكن القول بان تيار العتبة كدالة لدرجة الحرارة فقط . بالإمكان الاخذ بالاعتبار هذا الاعتماد وعن طريق وصف عدد من معاملات ليزر ( VCSE ) كدالة لدرجة الحرارة وبالخصوص تحصيل الليزر الا ان هذا المنهج يفترض وصفاً دقيقاً لفيزياء حرارة الجهاز ولأننا نحتاج الى وصف بسيط لتأثير درجة الحرارة على اداء (VCSEL) سنضطر الى اهمال هكذا توجه [8]. ان اعتماد كثافة تعداد الحاملات على درجة الحرارة يمكن ان يكتب بالشكل:

$$N_t(T) = N_{t0}(c_{n0} + c_{n1}T + c_{n2}T^2) \quad (7)$$

حيث ان  $N_{t0}$  تمثل عدد الحاملات المعتمد على درجة الحرارة عند الشفافية ، و  $c_{n0}$  و  $c_{n1}$  و  $c_{n2}$  ثوابت تستخدم لغرض تحقيق توافق نظري مع النتائج العملية [9]. ان علاقة اعتماد تيار العتبة على درجة الحرارة في ليزر (VCSEL) موضحاً في الشكل (8) [10] حيث يتضح ان الزيادة في درجة تؤدي الى نقصان في تيار العتبة لغاية (180K) ثم تزداد كثيراً مع الزيادة في درجة الحرارة. ان معامل انكسار مادة (VCSEL) يعتمد على درجة الحرارة وكما هو موضح في المعادلة التالية [10]:

$$n = n_0 + \Delta n T \quad (8)$$

وتمثل  $\Delta n$  الزيادة في معامل الانكسار مادة شبه الموصل، و  $T$  درجة الحرارة المطلقة و  $n_0$  يمثل معامل الانكسار الخطي. ذلك سيؤدي الى تغير في مواصفات طيف ليزر (VCSEL) حيث وجد (Hepburn et al) ان مقدار التغير في الطول الموجي مع درجة الحرارة عملياً كما هو موضح في المعادلة التالية [10]:

$$\frac{\Delta \lambda}{\Delta T} = \frac{\lambda}{n_0} \frac{\Delta n}{\Delta T} \cong 0.091 \text{ nm / K} \quad (9)$$

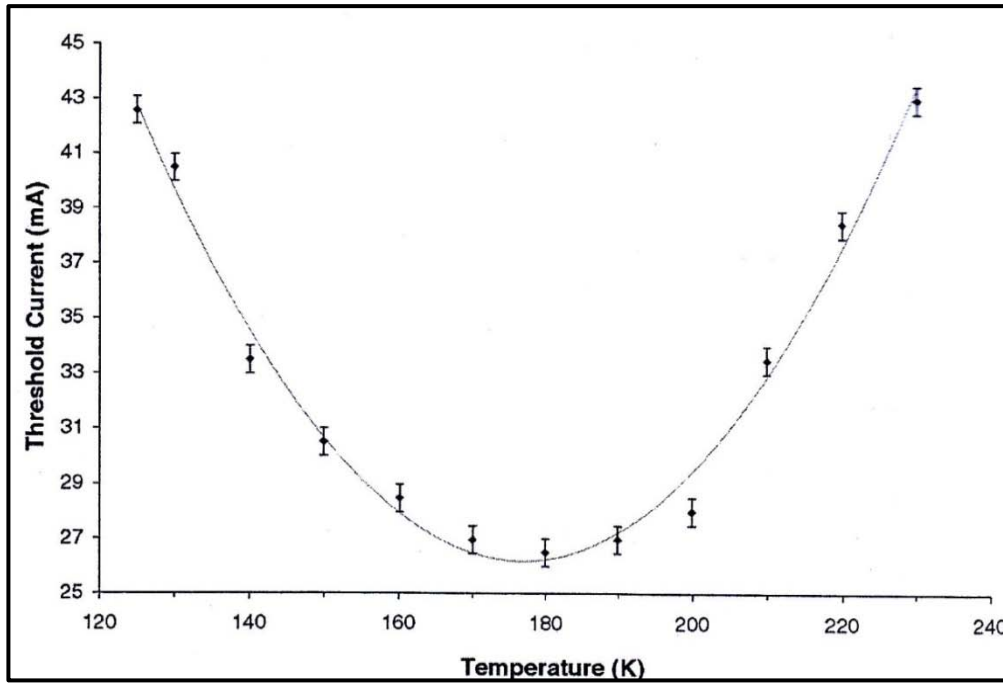
في الوقت الذي يمكن فيه ان تؤدي اعادة الالتحام والخسائر البصرية مثل الامتصاص ضمن نطاق التكافؤ دوراً في التصرف الحراري لذا فان غالبية التأثيرات خلال عمل الليزر المستقر او المستمر سببها اعتماد تحصيل الليزر على درجة الحرارة وعلى تسرب الحاملات خارج المنطقة الفعالة :

1 -زيادة درجة حرارة (VCSEL) فان طيف التحصيل يتسع وان موقع ذروته ينزاح باتجاه الاطوال الموجية الكبيرة.

ان طول موجة انبعاث الجهاز تزداد مع درجة الحرارة من خلال نقصان ذروة التحصيل ، وكننتيجة بالاعتماد على الموقع الابتدائي لذروة التحصيل نسبة الى الطول الموجي ، فان تحصيل الليزر قد يتناقص او يزداد مع درجة الحرارة حيث ان موقع ذروة التحصيل والطول الموجي يصبحان غير متطابقين . في الحقيقة يمكن تقليل هذا الضرر اي عدم تطابق ذروة التحصيل مع الطول الموجي عن طريق الاختيار الامثل لدرجة الحرارة لتحقيق عتبة تحصيل واطئة .

2- ان تسرب الحاملات الحراري بعيداً عن المنطقة الفعالة يؤدي الى خفض كفاءة الحقن . بارتفاع درجة حرارة الجهاز فإن موقع مستويات فيرمي في المنطقة الفعالة يرتفع نسبة الى فجوة الطاقة وعليه فان المنطقة الفعالة تصبح غير قادرة على حصر الحاملات . ان التسرب الناتج يمكن ان يُنمذج كدالة لكثافة الحاملات ودرجة الحرارة ، وان احتراق الحفرة المكاني الذي تعتمد عليه كثافة الحاملات يؤدي الى خفض اضافي في كفاءة الحقن . كافة هذه الاليات تؤثر في مميزات الضوء - التيار (LI) عن طريق جعل الكفاءة التفاضلية وتيار العتبة دوال لدرجة الحرارة وكثافة الحاملات،





الشكل (8): يوضح العلاقة بين تيار العتبة ودرجة حرارة VCSEL [10]

#### Effect of current modulation on the VCSEL dynamics

في ليزرات اشباه الموصلات. ان تصرف كثافة الفوتونات مع شكل ذروة حادة (spiky) والناتج عن تأثير تضمين تيار الحقن في ليزرات اشباه الموصلات يستعمل كمصادر لتوليد تنبضات بصرية خلال ( $10^{-12}$ ) ثانية في تطبيقات مختلفة [13]. عندما يُضمن الليزر بتردد فوق التردد الاساسي (الجوهري) فان قمة الرنين (Resonance peak) تتزاح باتجاه التردد الواطىء بزيادة تيار التضمين [4].

عندما تعمل ليزرات شبه الموصل بتيار تحييز مستمر (d.c.) تكون عموماً مستقرة ولا تظهر سلوكيات فوضوية، وتأتي احدى الطرق التي يمكن بواسطتها اضافة درجة حرية من التضمين الدوري للتيار ويتردد في مدى (GHZ). ان ليزرات اشباه الموصلات وتحت التضمين المباشر يمكن ان تُظهر سلوك مضاعفة الدورة حيث يكون السلوك الفوضوي مهماً في هذا النوع من الليزرات لأنها توظف عادةً في الاتصالات البصرية المشفرة [14] ولما كانت ليزرات شبه الموصل مثلاً على ليزرات الصنف (B) فأن هذا النظام يمتلك - كما ذكرنا

#### 4.2 تأثير تضمين التيار على حركات VCSEL

تتبع الاشارة الخارجة من ليزر شبه الموصل لتضمين تيار الحقن بقدر ما يكون التضمين صغيراً. من جهة اخرى عندما يكون تضمين تيار الحقن قوياً فان قدرة خرج الليزر تُظهر بشكل واضح عدد من الخصائص اللاخطية مثل التشوه التوافقي (Harmonic distortion) واختلاف التنبيض عن تردد التضمين وثنائية الاستقرار (Bistability) ومضاعفة الدورة وشبه مضاعفة الدورة (Quasi-Period doubling) الى الفوضى. لقد دُرست الطرق الى الفوضى في ليزر شبه الموصل بشكل مكثف ليس فقط من الجانب النظري وانما من الجانب العملي ايضاً خصوصاً مسألة التضمين التماثلي (Analogue modulation) في الياف الاتصالات البصرية. تعتمد ظاهرة الفوضى لليزرات الصنف (B) التي تتضمن ليزرات شبه الموصل على كل من الانبعاث التلقائي اشباع التحصيل [11-12]. ان عامل الانبعاث التلقائي ومعامل اشباع التحصيل يتصرفان كعوامل اضمحلال (Damping factors) عند تحليلات الاشارة الصغيرة مثبته لعدم الاستقراريات

معامل الانكسار الناتجة عن التغير المحتث في قلب التعداد بسبب عملية التضمين سيكون لها اثر في خرج الليزر [16]. ان هذا الوضع يعقد حالة التفاعل بين المجال المتذبذب داخل الليزر وفرق التعداد وان تأثيراً من هذا النوع قادر على خلق او احداث تغيرات في لاختطيات النظام ككل التي تظهر على شكل خرج مختلف عند مقارنته مع حالة انعدام التضمين [15].

واللادوري الى الفوضى . ان هذه الحركيات المختلفة تجعل من هذا الجهاز نموذجياً للاستعمال في الاتصالات خصوصاً المشفرة منها وتحددت المديات التي يمكن من خلالها تعيين التطبيقات المحتملة لهذا الجهاز .

## References

- 1-J. Y. Law," Static, dynamic, and noise characteristics of vertical-cavity surface-emitting lasers" Ph.D. thesis, University of Rochester, Rochester, New York(1997).
- 2- www.princetonoptronics.com , "Introduction to VCSEL".
- 3- J. Piprek," Semiconductor optoelectronic devices", University of California, Academic Press, USA(2003).
- 4-J. Ohtsubo," Semiconductor lasers stability, instability and chaos", Springer (2007).
- 5- M. Sciamanna, C. Masoller, F. Rogister, P. Megret, N. B. Abraham and M. Blondel," Fast pulsing dynamics of a vertical-cavity surface-emitting laser operating in the low-frequency fluctuation regime", Phy.Rev.A, 68, 015805 (2003).
- 6-M.San Miguel, Q.Fing and J.V.Moloney," Light-Polarization in surface-emitting semiconductor lasers", Phys.Rev.A, 52, 1728(1995).
- 7- J. Mulet, " Semiconductor laser dynamics: compound-cavity, polarization and transverse

سابقاً- درجتي حرية وان الدرجة الثالثة للحرية تُضاف عن طريق تضمين تيار الحقن ، من الناحية الفيزيائية فأن عملية تضمين تيار الحقن ستوفر او تخلق توزيعاً مكانياً في قلب التعداد على شكل محرز حيود وان التردد المكاني لهذا المحرز وعمقه دالة للجزء المتأوب من تيار الحقن ولتردده [15]. ان معامل انكسار الجزء المركزي ( $n^{core}$ ) أكبر بعض الشيء من معامل انكسار منطقة التغليف ( $n^{cladd}$ ) ، بطريقة ما بحيث ان التغيرات في

## 4. الاستنتاجات Conclusions

تأثر خرج ليزر شبه الموصل ذي التجويف الشاقولي الباعث للضوء سطحياً بتغير كل من حرارة الجهاز وتضمين تيار الحقن وبشكل كبير فقد ابدى النظام غنى واسعاً في الحركيات تراوحت بين الخرج الاعتيادي والدوري

- modes", Ph.D. thesis, University of Les illes Balears (2002).
- 8- P.V.Mena, J.J.Morikuni, M.Kang, A.V. Harton and W.Wyatt , " A Simple-equation based thermal VCSEL model", J. Light wave tech., 17, 865 (1999).
- 9- P.V.Mena, J.J.Morikuni, M.Kang, A.V.Harton and W.Wyatt, "A comprehensive circuit-level model of vertical-cavity surface-emitting lasers", J.Light Wave Tech. 17, 2612 (1999).
- 10- C.J.Hepburn, R.Sceats, D.Ramoo, A.Boland-Thoms, N.Balkan, M.J.Adams, "Temperature dependent operation of 1.5µm GaAsP/InP VCSELs", Superlatt. and Microstruct. 32, 103 (2002).
- 11- C.H. Lee, T.H.Yoon, Y.Shin , "Period doubling and chaos in a directly modulated laser diode", Appl. Phys. Lett. 46, 95 (1985).
- 12- Y.C.Chen, H.G.Winfu, J.M. Liu, " Subharmonic bifurcations and irregular pulsing behavior of modulated semiconductor lasers", Appl. Phys. Lett. 47, 208(1985).

13-H.Ito, Yokoyama. H.Murata S,H. Inaba , "Generation of picosecond optical pulses with highly RF modulated AlGaAs DH laser", IEEE, J. Quant. Elect. 17,663(1981).  
14-V. M. Nandakumaran , Bindu M. Krisbna and Manu P. John t," Chaotic dynamics of semiconductor laser with current modulation and optoelectronic feedback" Cochin Uni.of Science and Tech. Cochin, India (2008).

15-C.A.Emshary,H.A.Sultan and Ra'ed .M.Hassan, "Nonlinear dynamics in the output of VCSEL under them modulation of injection current".Acc.Pub.in Babylon J.(2012).  
16-A.Valle,L.Pesquera,S.I.Turovest and J.M.Lopez,"Nonlinear dynamics of current-modulated vertical-cavity surface – emitting lasers",Opt.Commun.208,173(2002).

### **Study the effect of temperature and modulation of injection current on the performance of VCSE laser**

Ali M.Chekheim and C.A.Emshary  
*Physics Department, Education College, Basrah University,  
Basrah , Iraq*

#### **Abstract:**

We studied the effect of temperature and injection current modulation on the various dynamics of (VCSEL) based on (Sciamanna *et al*) model as a result of the device importance especially in communications where it suffers temperature variation and modulation. Its dynamics widely affected by these two parameters and it shows dynamics ranging from steady to chaotic ones. The results obtained proved the richness of its various dynamics especially the chaotic one which is important in chaotic communication.